

ANALISA PENGARUH ABU VULKANIK GUNUNG KELUD PADA STABILISASI TANAH LEMPUNG

oleh:

Farhan Asmoro Triputro

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

Tanjung Rahayu

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

ABSTRAK : Pada konstruksi jalan, karakteristik tanah asli sebagai tanah dasar (*subgrade*) sangat menentukan kekuatan jalan. Tanah dasar yang dipilih sebaiknya adalah tanah yang mempunyai karakteristik yang baik. Namun banyak tanah dasar yang merupakan material alam termasuk tanah yang mempunyai karakteristik kurang baik jika digunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*), contohnya tanah lempung. Stabilitas tanah adalah usaha yang dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah yang kurang baik menjadi lebih baik. Pada penelitian ini, digunakan bahan aditif abu vulkanik Gunung Kelud sebagai bahan tambah untuk meningkatkan daya dukung tanah lempung. Kadar abu vulkanik Gunung Kelud yang digunakan adalah 3%, 6%, dan 9%. Pengujian laboratorium yang dilakukan adalah kuat tekan bebas dan California Bearing Ratio (CBR). Berdasarkan pengujian batas Atterberg, tanah asli yang digunakan sebagai sampel pengujian termasuk dalam kelompok A-7-5 atau tanah berlempung menurut klasifikasi AASHTO. Hasil pengujian kuat tekan bebas dan CBR menunjukkan peningkatan pada setiap penambahan kadar abu vulkanik Gunung Kelud. Peningkatan secara signifikan terjadi pada penambahan abu vulkanik Gunung Kelud sebesar 9 %, dimana nilai kuat tekan meningkat sebesar 36,6 % dan nilai CBR meningkat sebesar 6,15 %. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan abu vulkanik Gunung Kelud dapat meningkatkan daya dukung tanah lempung.

Kata kunci: Tanah lempung, stabilisasi tanah, batas *Atterberg*, kuat tekan bebas, CBR

Latar Belakang

Kondisi jalan raya yang baik sangat berpengaruh terhadap lancarnya arus lalu lintas. Dengan demikian, diperlukan perencanaan lapis perkerasan jalan raya yang baik agar dapat dilalui oleh kendaraan bermuatan berat atau ringan. Pada konstruksi jalan, karakteristik tanah asli sebagai tanah dasar (*subgrade*) sangat menentukan kekuatan jalan. Tanah dasar yang dipilih sebaiknya adalah tanah yang mempunyai karakteristik yang baik. Namun banyak tanah dasar yang merupakan material alam termasuk tanah yang mempunyai karakteristik kurang baik jika digunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*), contohnya tanah lempung. Tanah lempung memiliki sifat-sifat teknis yang kurang baik seperti kuat geser rendah, kembang susut

besar, dan plastisitas tinggi. Dengan demikian, diperlukan upaya untuk memperbaiki sifat tanah yang kurang baik sebelum pembuatan jalan baru. Stabilisasi tanah adalah usaha yang dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan pemadatan atau menambahkan bahan tertentu.

Abu vulkanik adalah abu yang berasal dari letusan gunung vulkanik (berapi) yang kemudian terbang ke segala arah sesuai dengan arah hembusan angin. Abu vulkanik sering dianggap sebagai limbah yang mengganggu masyarakat dan dapat mencemari lingkungan meskipun sebenarnya abu vulkanik mengandung material yang bermanfaat bagi masyarakat. Abu vulkanik memiliki kandungan silika yang tinggi

sehingga dapat memperbaiki sifat-sifat tanah yang kurang baik.

Parameter tanah yang diperlukan untuk mengetahui daya dukung tanah pada *subgrade* umumnya dinyatakan dengan besarnya nilai kuat tekan dan CBR (*California Bearing Ratio*). Penelitian sebelumnya pada sampel tanah lempung organik yang distabilisasi menggunakan abu Gunung Merapi dengan komposisi 5%, 10%, 15%, dan 20% menunjukkan bahwa nilai CBR mengalami peningkatan pada kadar abu Gunung Merapi 10% dan dapat digunakan sebagai *subgrade* pada konstruksi jalan. Penelitian ini dilakukan untuk mencari pengaruh penggunaan aditif abu gunung Kelud dengan tujuan meningkatkan daya dukung tanah lempung.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh abu vulkanik Gunung Kelud sebagai bahan aditif terhadap nilai kuat tekan bebas?
2. Bagaimana pengaruh abu vulkanik Gunung Kelud sebagai bahan aditif terhadap nilai CBR?

Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Sampel tanah lempung dalam kondisi *disturb* berasal dari daerah Rawasari, Jakarta.
2. Penelitian dilakukan di laboratorium Universitas Negeri Jakarta jurusan Teknik Sipil.
3. Kadar aditif abu Gunung Kelud yang digunakan sebesar 3%, 6%, dan 9% terhadap setiap berat pengujian dari sampel tanah lempung yang akan diuji.
4. Pengujian CBR laboratorium dilakukan dengan kondisi basah (dengan rendaman).

5. Jumlah benda uji adalah 6 buah untuk setiap kadar aditif yang berbeda.
6. Pengujian *T-student* dilakukan untuk mengetahui data yang dapat diterima atau ditolak digunakan pada perhitungan.

Maksud Dan Tujuan

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui besarnya nilai kuat tekan bebas dan CBR pada tanah lempung asli.
2. Untuk mengetahui besarnya nilai kuat tekan bebas dan CBR pada tanah lempung yang diberi aditif abu vulkanik Gunung Kelud sebesar 3%, 6%, dan 9%.
3. Untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif abu vulkanik Gunung Kelud pada nilai kuat tekan bebas dan CBR pada tanah lempung.

Lempung

Menurut Hardiyatmo (2002), tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Mitchell (1976) menyatakan bahwa butir lempung adalah partikel tanah yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm, sedangkan mineral lempung adalah kelompok-kelompok partikel kristal berukuran koloid (<0,002 mm) yang terjadi akibat proses pelapukan dan batuan. Menurut Craig (1987), tanah lempung adalah mineral tanah sebagai kelompok-kelompok partikel kristal koloid berukuran kurang dari 0,002 mm, yang terjadi akibat proses pelapukan kimia pada batuan yang salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam ataupun alkali, dan karbondioksida.

Lapisan tanah lunak umumnya terdiri dari tanah yang sebagian besar adalah butiran-butiran yang sangat kecil seperti lempung

atau lanau. Sifat lapisan tanah lunak (dalam hal ini tanah lempung) adalah mempunyai kuat geser rendah, kembang susut besar, plastisitas tinggi, kemampatan besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil.

Tabel 1 Klasifikasi tanah menurut AASHTO

General Classification	Granular Materials (35% or less passing 0.075 mm)							Silty-Clay Material (More than 35% passing 0.075 mm)			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
Sieve Analysis Percent passing: 2.00 mm 0.42 mm 0.075 mm	50 max	30 max 50 max	51 min	35 max 35 max	35 max 35 max	35 max 35 max	36 min 36 min	36 min 36 min	36 min 36 min	36 min 36 min	**
Characteristics of Fraction passing 0.42 mm Liquid Limit Plastic Index	6 max 6 max	6 max	N.P.	40 max 41 min 10 max 10 max	40 max 41 min 11 min 11 min	40 max 41 min 11 min 11 min	40 max 41 min 10 max 10 max	40 max 41 min 10 max 10 max	40 max 41 min 11 min 11 min	40 max 41 min 11 min 11 min	40 max 41 min 11 min 11 min
Usual types of significant constituent materials	Stone Fragments - gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand			Silty soils		Clayey soils		
General rating as subgrade	Excellent to good							Fair to poor			

** A-7-5 - PI ≤ LL - 30
A-7-6 - PI > LL - 30
 $GI = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$

Abu Vulkanik Gunung Kelud

Material yang dihamburkan oleh letusan gunung vulkanik (berapi) mempunyai beragam ukuran, dari batuan yang berukuran besar sampai halus. Batuan yang berukuran besar akan jatuh di sekitar kawah, namun material yang berukuran halus (abu vulkanik) dapat jatuh pada daerah yang jauh. Abu vulkanik adalah abu yang berasal dari letusan gunung vulkanik (berapi) yang kemudian terbang ke segala arah sesuai dengan arah hembusan angin. Abu vulkanik sering dianggap sebagai limbah yang mengganggu masyarakat dan dapat mencemari lingkungan meskipun sebenarnya abu vulkanik mengandung material yang bermanfaat bagi masyarakat. Abu vulkanik memiliki kandungan silika yang tinggi sehingga dapat memperbaiki sifat-sifat tanah yang kurang baik.

Tabel 2 Kandungan kimia abu vulkanik Gunung Kelud

Nama	Jumlah (%)
Silika (Si)	70,6
Zat besi (Fe)	1,4 - 9,3
Magnesium (Mg)	0,1 - 2,4
Kalsium (Ca)	0,7
Aluminium (Al)	1,8 - 15,9
Kalium (K)	
Pospor (P)	

Sumber: Detail Penelitian Kandungan Abu Vulkanik Gunung Kelud UMY (Gunawan Budiyanto, 2014)

Gunung Kelud dengan tinggi 1731 m di atas permukaan laut yang berada di perbatasan Kediri, Tulungagung, dan Malang meletus pada tanggal 13 Februari 2014. Menurut Gunawan Budiyanto (2014), abu vulkanik Gunung Kelud berbutir halus seperti lempung (clay) dengan diameter di bawah 0,002 mm. Abu yang berasal dari letusan Gunung Kelud mempunyai bentuk ujung yang runcing sehingga dapat menambah ketahanan tanah dalam menerima beban.

Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah usaha yang dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan pemadatan atau menambahkan bahan tertentu. Secara umum, tujuan stabilisasi tanah adalah menaikkan kuat geser tanah, mengurangi kompresibilitas, mengurangi potensi kembang susut tanah, mengurangi resiko likuifaksi, dan lain-lain. Tanah dasar (subgrade) harus mampu menahan beban yang dapat menimbulkan geseran dan lendutan berlebihan yang akan menyebabkan retaknya lapisan di atasnya. Jika tanah dasar mendapat perlakuan stabilisasi, maka kualitas tanah akan menjadi lebih baik. Dengan demikian, distribusi beban akan terjadi pada areal

yang lebih luas sehingga tebal lapisan perkerasan yang diperlukan dapat direduksi.

California Bearing Ratio (CBR)

Lapisan tanah yang akan digunakan sebagai tanah dasar (subgrade) pada konstruksi jalan raya sebaiknya memiliki kepadatan yang memenuhi syarat agar dapat menerima beban yang sesuai dengan perencanaan. Salah satu cara pengujian yang dilakukan untuk mengukur kepadatan tanah dasar adalah California Bearing Ratio (CBR). Nilai CBR adalah perbandingan antara gaya perlawanan penetrasi dari tanah terhadap penetrasi sebuah piston yang ditekan secara kontinu dengan gaya perlawanan serupa pada contoh tanah standar berupa batu pecah di California. Perbandingan atau rasio tersebut diambil pada penetrasi 2,54 mm (0,1 inci) dan 5,08 mm (0,2 inci). Gaya perlawanan penetrasi adalah gaya yang diperlukan untuk menahan penetrasi konstan dari suatu piston ke dalam tanah. Hasil percobaan dinyatakan sebagai nilai CBR (%) yang akan digunakan untuk menentukan tebal perkerasan. CBR laboratorium umumnya digunakan untuk perencanaan pembangunan jalan baru dan lapangan terbang.

$$CBR_{0,1"} = \frac{\text{Gaya pada penetrasi } 0,1"}{3000} \cdot 100 \%$$

$$CBR_{0,2"} = \frac{\text{Gaya pada penetrasi } 0,2"}{4500} \cdot 100 \%$$

Gaya yang diperhitungkan dinyatakan dalam satuan lbs. Semakin tinggi nilai CBR suatu lapisan tanah, maka tebal lapis perkerasan yang diperlukan akan semakin tipis.

Kuat Tekan Bebas

Nilai kuat tekan bebas (q_u) adalah nilai yang menyatakan kemampuan sampel tanah untuk menerima tekanan maksimum sebelum mengalami keruntuhan (kehancuran). Nilai q_u adadapat diperoleh melalui grafik hubungan antara tegangan dan regangan.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad A = \frac{A_0}{1 - \epsilon} \quad \sigma = \frac{P}{A}$$

dimana:

ΔL = perubahan panjang

L = panjang sampel awal

A_0 = luas penampang awal

σ = tegangan

Pengujian T-Student

Pengujian t-student adalah suatu teknik statistik untuk menguji signifikansi perbedaan dua buah *mean* yang berasal dari dua buah distribusi.

$$t = \frac{\bar{\bar{x}} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}$$

dimana:

t = t_{hitung}

$\bar{\bar{x}}$ = mean

μ_0 = rata-rata tertentu

s = standar deviasi

n = jumlah data

nilai t yang dihitung berdasarkan rumus di atas (t_{hitung}) akan dibandingkan dengan nilai t yang diperoleh dari tabel (t_{tabel})

Jika nilai $t_{hitung} \leq t_{tabel}$ maka data diterima

Jika nilai $t_{hitung} \geq t_{tabel}$ maka data ditolak

Hasil Penelitian

Tabel 3 Hasil pengujian kadar air

No. Sampel	Kadar Air (X)	X-X Rata-rata	(X-X Rata-rata) ²	S	T hitung	T tabel (95%)	Keterangan
1	11,11	-1,175	1,381	1,04	3,237	2,57	Ditolak
2	12,36	0,075	0,006		0,013		Diterima
3	11,86	-0,425	0,181		0,423		Diterima
4	13,38	1,095	1,199		2,811		Diterima
5	13,64	1,355	1,836		4,305		Ditolak
6	11,36	-0,925	0,856		2,006		Diterima
Rata ²	12,28						

Berdasarkan uji statistik T-Student, empat buah data dapat diterima sehingga diperoleh Kadar air rata-rata = $\frac{12,36+11,86+13,38+11,36}{4} = 11,86 \%$

Tabel 4 Hasil pengujian batas cair pada 25 ketukan

No. Sampel	Kadar Air (X)	X-X Rata-rata	(X-X Rata-rata) ²	S	T hitung	T tabel (95%)	Keterangan
1	46,61	-2,01	4,06	4,41	2,258	2,57	Diterima
2	50,77	2,14	4,59		2,551		Diterima
3	45,04	-3,58	12,86		7,143		Ditolak
4	45,28	-3,34	11,2		6,219		Ditolak
5	47,48	-1,14	1,31		0,730		Diterima
6	56,58	7,95	63,25		35,125		Ditolak
Rata ²	48,63						

Berdasarkan uji statistik T-Student, tiga buah data dapat diterima sehingga diperoleh Batas cair rata-rata = $\frac{46,61+50,77+47,48}{3} = 48,29 \%$

Tabel 5 Hasil pengujian batas cair pada 35 ketukan

No. Sampel	Kadar Air (X)	X-X Rata-rata	(X-X Rata-rata) ²	S	T hitung	T tabel (95%)	Keterangan
1	39,77	-1,37	1,87	7,12	0,646	2,57	Diterima
2	42,49	1,35	1,82		0,627		Diterima
3	35,14	-6	36		12,386		Ditolak
4	45,92	4,78	22,84		7,861		Ditolak
5	51,51	10,37	107,53		36,998		Ditolak
6	32,01	-9,13	83,35		28,679		Ditolak
Rata ²	41,14						

Berdasarkan uji statistik T-Student, dua buah data dapat diterima sehingga diperoleh Batas cair rata-rata = $\frac{39,77+42,49}{2} = 41,13 \%$

Tabel 6 Hasil pengujian batas cair pada 50 ketukan

No. Sampel	Kadar Air (X)	X-X Rata-rata	(X-X Rata-rata) ²	S	T hitung	T tabel (95%)	Keterangan
1	35,71	-13,26	176	13,5	31,849	2,57	Ditolak
2	62,12	13,14	172,74		31,259		Ditolak
3	38,2	-10,77	116,13		21,015		Ditolak
4	41,24	-7,73	59,85		10,831		Ditolak
5	47,86	-1,11	1,24		0,226		Diterima
6	68,73	19,75	390,19		70,607		Ditolak
Rata ²	48,98						

Berdasarkan uji statistik T-Student, hanya satu buah data yang dapat diterima sehingga Batas cair rata-rata = 47,86 %

Berdasarkan uji statistik T-Student untuk batas cair pada 25, 35, dan 50 ketukan, maka Batas cair rata-rata = $\frac{48,29+41,13+47,86}{3} = 45,76 \%$

Tabel 7 Hasil pengujian batas plastis

No. Sampel	Kadar Air (X)	X-X Rata-rata	(X-X Rata-rata) ²	S	T hitung	T tabel (95%)	Keterangan
1	39,29	6,23	38,91	7,50	12,695	2,57	Ditolak
2	40,63	7,57	57,43		18,734		Ditolak
3	20	-13,05	170,34		55,568		Ditolak
4	34,38	1,32	1,76		0,576		Diterima
5	29,63	-3,42	11,70		3,819		Ditolak
6	34,38	1,32	1,76		0,576		Diterima
Rata ²	33,051						

Berdasarkan uji statistik T-Student, dua buah data dapat diterima sehingga diperoleh Batas cair rata-rata = $\frac{34,88+34,88}{2} = 34,88 \%$

Hasil pengujian kadar air rata-rata dan batas Atteberg rata-rata tanah yang dihitung berdasarkan uji statistik T-student adalah:
 - Kadar air (w) = 11,86 %
 - Batas cair (LL) = 45,76 %
 - Batas plastis (PL) = 34,38 %
 - Indeks plastisitas (IP) = 11,38 %

Berdasarkan klasifikasi AASHTO, sampel tanah termasuk pada tipe A-7-5.

Tabel 8 Hasil pengujian tekan bebas pada tanah lempung dengan kadar aditif 0 %

No. Sampel	Kuat Tekan (X)	X-X Rata-rata	(X-X Rata-rata) ²	S	T hitung	T tabel (95%)	Keterangan
1	0,80	0,036	0,0013	0,03	0,0848	2,57	Diterima
2	0,79	0,026	0,00071		0,0449		Diterima
3	0,73	-0,033	0,0011		0,0701		Diterima
4	0,75	-0,013	0,00018		0,0112		Diterima
5	0,80	0,036	0,0013		0,0848		Diterima
6	0,71	-0,053	0,0028		0,1795		Diterima
Rata-rata	0,76						

Berdasarkan uji statistik T-Student, enam buah data dapat diterima sehingga diperoleh Kuat tekan rata-rata = $\frac{0,8+0,79+0,73+0,75+0,8+0,71}{6} = 0,76 \%$

Tabel 9 Hasil pengujian tekan bebas pada tanah lempung dengan kadar aditif 3 %

No. Sampel	Kuat Tekan (X)	X-X Rata-rata	(X-X Rata-rata) ²	S	T hitung	T tabel (95%)	Keterangan
1	0,86	-0,028	0,0008	0,03	0,0564	2,57	Diterima
2	0,88	-0,0083	0,00007		0,0049		Diterima
3	0,90	0,011	0,00014		0,0096		Diterima
4	0,92	0,031	0,0010		0,0704		Diterima
5	0,93	0,041	0,0017		0,1219		Diterima
6	0,84	-0,048	0,0023		0,1641		Diterima
Rata-rata	0,89						

Berdasarkan uji statistik T-Student, enam buah data dapat diterima sehingga diperoleh Kuat tekan rata-rata = $\frac{0,86+0,88+0,9+0,92+0,93+0,84}{6} = 0,89 \%$

Tabel 10 Hasil pengujian tekan bebas pada tanah lempung dengan kadar aditif 6 %

No. Sampel	Kuat Tekan (X)	X-X Rata-rata	(X-X Rata-rata) ²	S	T hitung	T tabel (95%)	Keterangan
1	0,79	-0,096	0,0093	0,06	0,3662	2,57	Diterima
2	0,95	0,063	0,0040		0,1572		Diterima
3	0,83	-0,056	0,0032		0,1258		Diterima
4	0,91	0,023	0,00054		0,0213		Diterima
5	0,93	0,043	0,0018		0,0736		Diterima
6	0,91	0,023	0,00054		0,0213		Diterima
Rata-rata	0,89						

Berdasarkan uji statistik T-Student, enam buah data dapat diterima sehingga diperoleh Kuat tekan rata-rata = $\frac{0,79+0,95+0,83+0,91+0,93+0,91}{6} = 0,89 \%$

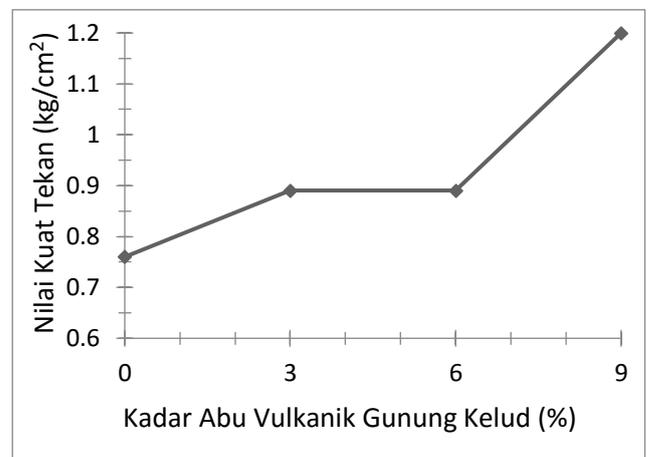
Tabel 11 Hasil pengujian tekan bebas pada tanah lempung dengan kadar aditif 9 %

No. Sampel	Kuat Tekan (X)	X-X Rata-rata	(X-X Rata-rata) ²	S	T hitung	T tabel (95%)	Keterangan
1	1,32	0,12	0,014	0,10	0,3225	2,57	Diterima
2	1,18	-0,02	0,0004		0,0090		Diterima
3	1,25	0,05	0,0025		0,0560		Diterima
4	1,25	0,05	0,0025		0,0560		Diterima
5	1,20	0,0000	0,0000		0,0000		Diterima
6	1,00	-0,20	0,040		0,8959		Diterima
Rata-rata	1,20						

Berdasarkan uji statistik T-Student, enam buah data dapat diterima sehingga diperoleh Kuat tekan rata-rata = $\frac{1,32+1,18+1,25+1,25+1,2+1}{6} = 1,2 \%$

Tabel 12 Hasil pengujian tekan bebas

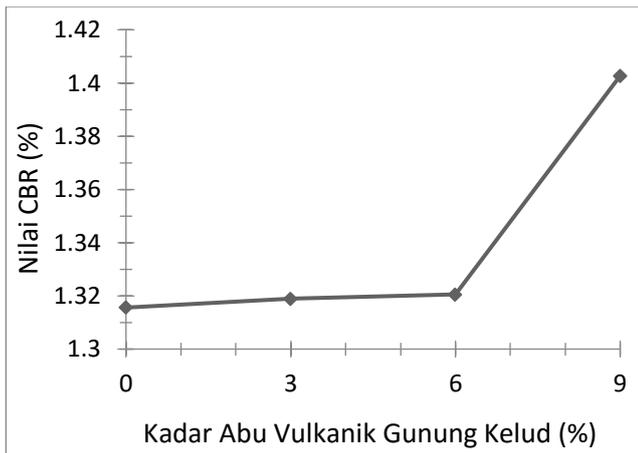
Kadar Aditif (%)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Peningkatan (%)
0	0,76	-
3	0,89	17,2
6	0,89	17,2
9	1,20	36,6



Gambar 1 Grafik peningkatan nilai kuat tekan bebas

Tabel 13 Hasil pengujian CBR laboratorium

Kadar Aditif (%)	CBR Design (%)	Peningkatan (%)
0	1,3156	-
3	1,3189	0,25
6	1,3205	0,37
9	1,4027	6,15



Gambar 2 Grafik peningkatan nilai CBR laboratorium

Kesimpulan

Berdasarkan pengujian-pengujian yang telah dilakukan di laboratorium, dapat disimpulkan bahwa:

1. Tanah lempung yang digunakan sebagai sampel pengujian termasuk pada tipe A 7-5 menurut klasifikasi AASHTO.
2. Abu vulkanik Gunung Kelud dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas dan CBR tanah lempung.
3. Nilai kuat tekan bebas dan CBR meningkat secara signifikan pada penambahan abu vulkanik Gunung Kelud 9 %.

Daftar Pustaka

- Anonim, 1989, *Metode Pengujian CBR Laboratorium (SNI 03-1744)*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim, 1994, *Metode Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah Kohesif (SNI 03-3638)*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim, 2003, *Metode Pengujian Batas Cair dengan Alat Cassagrande (SNI 03-1967)*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

- Anonim, 2003, *Metode Pengujian Batas Plastis (SNI 03-1966)*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim, 2003, *Metode Pengujian Kadar Air (SNI 03-1965)*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim, *Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- ASTM Standards, 1989, *American Society for Testing Materials*, Philadelphia.
- Bowless, J. E., 1991, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknik Tanah*, Erlangga, Jakarta
- Budi, Gogot Setyo, 2011, *Pengujian Tanah di Laboratorium*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Craig, R. F., 1989, *Mekanika Tanah*, Erlangga, Jakarta.
- Das, B. M., 1988, *Mekanika Tanah - Klasifikasi Tanah*, Surabaya.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2010, *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan Raya*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2011, *Perancangan Perkerasan Jalan & Penyelidikan Tanah*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Khalis, Adli, Sri Murni Dewi, dan Wisnumurti, 2016, *Kajian Abu Vulkanik Gunung Kelud sebagai Pengganti Bahan Penyusun Batako Berlubang*, Malang.
- Sahid, *Analisis Data Statistik dengan MS Excel*, Laboratorium Komputer Jurdik Matematika FMIPA UNY, Yogyakarta.
- Wesley, L., D., 1997, *Mekanika Tanah*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Yuswanto, Sadham Panjang, dan Pramudiyanto, 2015, *Pengaruh Penambahan Abu Vulkanik Gunung Kelud terhadap Kuat Tekan Beton*, INERSIA Vol. XI No. 1, Yogyakarta.

